

Отзыв

официального оппонента на диссертацию соискателя

Дмитриева Александра Константиновича «Многочастотное возбуждение оптически детектируемого магнитного резонанса в центрах окраски в алмазе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника

Диссертационная работа Дмитриева Александра Константиновича посвящена исследованиям эффектов оптически детектируемого магнитного резонанса в кристалле алмаза с NV-центрами.

Актуальность работы определяется, в первую очередь, выбором объекта исследований – примесного диэлектрического кристалла, обладающего целым набором уникальных свойств, особенно ценных с точки зрения применимости методов двойного радио-оптического резонанса – одного из важнейших инструментов современной квантовой оптики. Чувствительность NV-центров в кристалле алмаза к неселективному оптическому возбуждению, благоприятные динамические характеристики кристалла при комнатной температуре, относительная простота энергетической структуры основного состояния центра и возможность микроминиатюризации потенциального датчика обеспечили их особую популярность в исследованиях прикладного характера последних лет. Активный интерес исследователей к этим объектам, удивительное многообразие их свойств и перспективность их применений в устройствах квантовой информатики и микро-магнитометрии делают тему диссертационной работы А.К. Дмитриева чрезвычайно актуальной.

Научная новизна.

Особенностью работы является новизна и оригинальность общего подхода к исследованиям, нацеленного на максимальное проникновение в скрытую анизотропию объемного кубического кристалла, проявляющуюся в оптическом отклике среды на радиочастотное (ВЧ и СВЧ) возмущение. Такой подход, в сочетании с новыми методами комбинированного возбуждения, позволил реализовать ряд новых приемов повышения чувствительности магнитометрии слабых магнитных полей. Разработанные автором

оригинальные методы ОДМР спектроскопии позволили наблюдать ЯМР переходы в сверхтонкой структуре NV центров, а также обнаружить двухчастотные резонансы, связанные с расщеплением Ауслера-Таунса.

Научная и практическая значимость определяется новыми важными научными результатами, которые, с одной стороны, существенно расширяют наши представления о механизмах формирования сигналов ОДМР в объемных кристаллах алмаза с NV центрами и дополнительно раскрывают потенциал этого уникального объекта, а с другой – предлагают новые конкретные схемы магнитометрических измерений.

К достижениям первого типа можно явно отнести результаты анализа ОДМР спектров при двухчастотном возбуждении, которые позволили существенно продвинуться в понимании механизмов формирования сигналов ОДМР в нулевых и малых магнитных полях.

К достижениям второго типа – одновременное использование различных переходов в сверхтонкой структуре радиочастотного спектра NV-центров для повышения магнитометрической чувствительности сенсора.

Большой научный интерес также представляет обнаруженный ультразвукий резонанс ОДМР спектра при одночастотном ВЧ возбуждении. Данный результат демонстрирует возможность создания и детектирования ядерной ориентации посредством оптической накачки без использования СВЧ поля.

Оценка содержания работы.

Диссертация состоит из Введения, шести глав и Заключения. Во Введении представлено общее описание постановки работы, сформулированы ее цели и задачи, аргументирован выбор объекта исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, и дана общая характеристика работы. Введение адекватным образом служит своим целям и дает вполне ясное общее представление о тематике, структуре и результатах работы.

Первая глава, носящая название «Обзор литературы», содержит, наряду с обстоятельным историческим введением, детальную информацию об энергетической структуре и свойствах NV-центров, о динамике внутрицентровых процессов, о различных типах спиновых взаимодействий и способах их математического описания, о физике и технике ОДМР-спектроскопии, о принципах и схемах построения магнитометрических датчиков на основе NV-центров. Содержание этой главы свидетельствует об эрудиции и грамотности автора и, на мой взгляд, представляет ценность как дидактический материал для студентов и исследователей интересующихся этой областью физики.

Во второй главе обстоятельно описываются технические детали эксперимента - техника измерений, структура экспериментальной установки, методы создания и конфигурация оптических и радиочастотных полей, а также характеристики исследуемого образца.

В третьей главе рассмотрена концепция микроразмерного магнитометрического датчика на основе NV-центров и предложен ряд существенных изменений в конструкции прибора, способствующих повышению его чувствительности. Предлагается метод возбуждения ОДМР, позволяющий получить в спектре резонансный отклик от всех компонент сверхтонкого триплета и таким образом повысить чувствительность магнитометра. Предложен важный для практической магнитометрии метод подавления мертвых угловых зон, возникающих при перекрытии различных резонансов ОДМР спектра. Результатом описанных в этой главе исследований явилась разработка и создание макета векторного магнитометра сверхвысокого разрешения с чувствительностью $1.5 \text{ нТл/Гц}^{1/2}$.

Четвертая глава посвящена исследованию ОДМР спектра NV центров в алмазе при одночастотном ВЧ возбуждении и, как было отмечено ранее, демонстрирует возможность наблюдения ядерной ориентации в структуре центра чисто оптическими методами.

Значительный научный интерес представляют описанные в пятой главе результаты исследований ОДМР спектров NV-центров в условиях комбинированного воздействия СВЧ и ВЧ полей в малых внешних магнитных полях и наблюдение магнитонезависимого резонанса, обусловленного расщеплением Аутлера-Таунса. Описанные в этой главе двухчастотные резонансы могут иметь важное прикладное значение для построения стандартов частоты.

Совершенно иной подход к построению магнитометра описан и реализован в шестой главе диссертации. Для целей построения компактного скалярного магнитометрического датчика малых магнитных полей было предложено использовать обнаруженный методом ОДМР спектроскопии эффект магнитозависимого поглощения ВЧ поля в слабых магнитных полях. Специфические свойства такого датчика делают его потенциально перспективным для применения в области биофизики и медицины.

Представленный в диссертационной работе Дмитриева цикл оригинальных исследований оптически детектируемого магнитного резонанса в NV-центрах в алмазе в условиях многочастотного возбуждения с одной стороны демонстрирует высокую квалификацию диссертанта и в области теоретической подготовки, и по части умения работать с экспериментальной техникой, а с другой – вносит существенный вклад в развитие

микроразмерной магнитометрии малых полей на основе примесных кристаллов алмаза. Убедительным свидетельством экспериментальной креативности диссертанта служит многообразие предложенных схем измерений. Все реализованные схемы и все результаты измерений сопровождаются обстоятельными комментариями, которые свидетельствуют о глубоком понимании автором сути происходящих процессов и, одновременно, определяют надежность и достоверность полученных данных.

Диссертация аккуратно оформлена, построена логично и последовательно и написана хорошим языком и может быть полезна студентам в качестве учебного пособия.

Достоверность основных выводов и результатов работы не вызывает сомнений, что подтверждается использованием современных экспериментальных методов, сопоставимостью с результатами исследований других научных групп, непротиворечивостью и согласием с теорией. Все представленные в работе результаты опубликованы в ведущих научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, а также апробированы на российских и международных конференциях.

Замечания по диссертационной работе.

1. Для полноты описания свойств NV-центра было бы полезно привести сведения о влиянии оптической накачки на оптические спектры кристалла.
2. В экспериментальной части диссертации отсутствует описание метода, примененного автором при определении направлений осей кристаллической решетки использованного в эксперименте образца.
3. В Главе 4 нет сведений о зависимости параметров резонанса от ориентации поляризации излучения накачки и высокочастотного поля относительно ортов кристаллической решетки.
4. На стр. 110 приведена английская аббревиатура "ESEEM", и дана ее расшифровка - half width at half maximum. Очевидно, это ошибка, и следует читать "HWHM"?

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку качества выполненной работы.

Аннотация диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Дмитриева Александра Константиновича «Многочастотное возбуждение оптически детектируемого магнитного резонанса в центрах окраски в алмазе», полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук» (от 19.08.2019), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы, Дмитриев Александр Константинович, несомненно заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Официальный оппонент.

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
вед. н.с. Лаборатории оптики спина им. И. Н. Уральцева
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»

ЗАПАССКИЙ Валерий Сергеевич

Контактные данные.

Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9

Телефон: +7 (921) 579-57-51

e-mail: vzap@rambler.ru

